



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002079383 A**

(43) Date of publication of application: 19.03.02

(51) Int. Cl.

B23K 20/12

(21) Application number: 2000266932

(22) Date of filing: 04.09.00

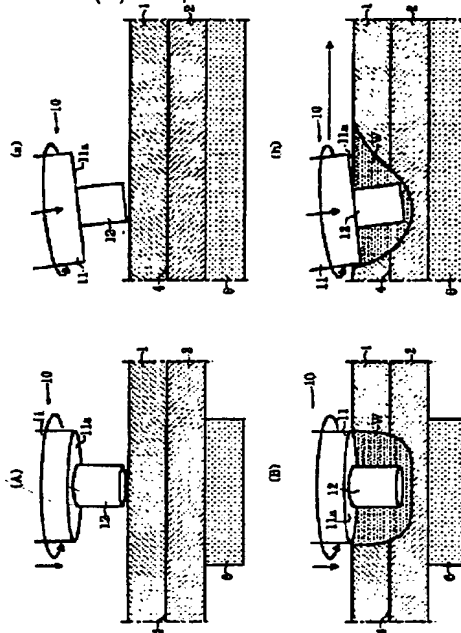
(71) Applicant: **NIPPON LIGHT METAL CO LTD**(72) Inventor: **HORI HISASHI
MAKITA SHINYA****(54) METHOD OF JOINING AND JOINING TOOL****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of joining by which a sound joined part having no defect or near the surface of metal is surely available when metallic members whose melting points are different from each other are joined with a friction stir welding, and a joining tool used for the method.

SOLUTION: The method for joining includes a process where an aluminum alloy member 1 and an oxygen-free copper 2 which have different melting points are lapped, a process where a joining tool 10, which has a cylindrical main body 11 and a projected probe 12 on the bottom face 11a of the main body, is located near the surface of the aluminum alloy member 1 whose melting point is lower, and a backing member 6, whose thermal conductivity is lower than that of the oxygen-free copper 2, is located near the back face of the oxygen-free copper 2 whose melting point is higher, and on the opposite side from the joining tool 10, and a process where a friction stir welding of the aluminum alloy member 1 and the oxygen-free copper 2 is performed along their lapped part 4 by making the joining tool 10 enter the vicinity of the lapped part 4

of the aluminum alloy member 1 and the oxygen-free copper 2 while rotating the tool 10, and moving the tool in the longitudinal direction of the lapped part 4.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-79383

(P2002-79383A)

(43)公開日 平成14年3月19日(2002.3.19)

(51)Int.Cl.⁷

B 2 3 K 20/12

識別記号

3 1 0

F I

B 2 3 K 20/12

テームト^{*}(参考)

3 1 0 4 E 0 6 7

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2000-266932(P2000-266932)

(22)出願日 平成12年9月4日(2000.9.4)

(71)出願人 000004743

日本軽金属株式会社

東京都品川区東品川二丁目2番20号

(72)発明者 堀 久司

静岡県庵原郡蒲原町蒲原1丁目34番1号

日本軽金属株式会社グループ技術センター
内

(72)発明者 牧田 慎也

静岡県庵原郡蒲原町蒲原1丁目34番1号

日本軽金属株式会社グループ技術センター
内

(74)代理人 100098615

弁理士 鈴木 孝

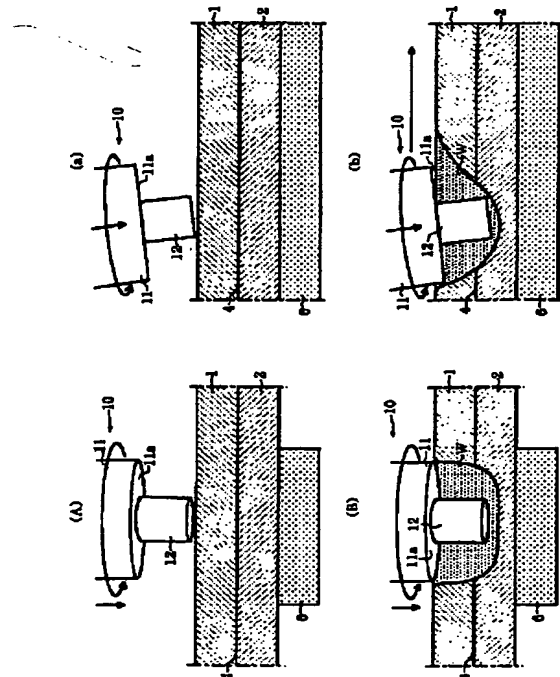
Fターム(参考) 4E067 BG00 CA04

(54)【発明の名称】 接合方法および接合ツール

(57)【要約】

【課題】融点が互いに異なる金属部材同士を摩擦攪拌接合するに際し、内部や表面付近に欠陥のない健全な接合部を確実に得られる接合方法とこれに用いる接合ツールとこれに用いる接合ツールを提供する。

【解決手段】融点異なるアルミニウム合金材1と無酸素銅2を重ね合わせる工程と、低融点側のアルミニウム合金材1の表面付近に円柱形の本体11とその底面11aに突設したプローブ12とを有する接合ツール10を配置し、且つ高融点側の無酸素銅2における接合ツール10と対向する裏面付近に係る無酸素銅2よりも熱伝導率の低い裏当材6を配置する工程と、上記接合ツール10を回転させつつ上記アルミニウム合金材1と無酸素銅2との重合部4付近に進入させ且つ係る重合部4の長手方向に沿って移動させることにより、上記アルミニウム合金材1と無酸素銅2をその重合部4に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、接合方法。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、

上記一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に円柱形の本体とその底面に突設したプローブとを有する接合ツールを配置し、且つ高融点側の金属部材における上記接合ツールと対向する裏面付近に裏当材を配置する工程と、

上記接合ツールを回転させつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする接合方法。

【請求項 2】前記裏当材は、高融点側の金属部材よりも低い熱伝導率のものであるか、あるいは加熱手段を有するものである、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の接合方法。

【請求項 3】円柱形の本体とその底面にプローブとを有し、このプローブの先端部に凹凸部を有する接合ツールを用いる接合方法であって、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、

上記一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、

上記接合ツールを回転させつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする接合方法。

【請求項 4】少なくとも円柱形の本体における外周部を含む第 1 部分と、少なくともプローブ先端部を含む第 2 部分とからなり、第 1 部分と第 2 部分とが同軸心で且つ個別に回転する接合ツールを用いる接合方法であって、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、

上記一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、

上記接合ツールをその第 2 部分の回転数を第 1 部分の回転数よりも大きくした回転を伴いつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ、且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする接合方法。

【請求項 5】前記第 1 部分が円柱形の本体およびその底面に突設したプローブ基端部を含み、且つ前記第 2 部分がプローブの先端部を含むと共に、互いに同軸心で且つ個別に回転する第 1・第 2 部分からなる接合ツールを用いる接合方法であって、

融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、

上記一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、

上記接合ツールをその本体側の第 1 部分の回転数よりもプローブ先端部側の第 2 部分の回転数を大きくした回転を伴って上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の接合方法。

10 【請求項 6】請求項 4 に記載の接合方法に用いる接合ツールであって、円柱形の本体またはこの本体の外周部を含む第 1 部分と、

上記本体の中心部を同軸心で貫通する回転軸とこの回転軸の先端に位置し且つ上記本体の底面から突出するプローブとを含む第 2 部分と、

上記第 1 部分と第 2 部分との間に配置した軸受と、を含む、

ことを特徴とする接合ツール。

20 【請求項 7】請求項 5 に記載の接合方法に用いる接合ツールであって、円柱形の本体とその底面に突設したプローブ基端部とを含む第 1 部分と、

プローブ先端部と上記第 1 部分の本体およびプローブ基端部の軸心を貫通する回転軸とを含む第 2 部分と、上記第 1 部分と第 2 部分との間に配置した軸受と、を含む、

ことを特徴とする接合ツール。

【発明の詳細な説明】

30 【0001】

一【発明の属する技術分野】本発明は、互いに融点が異なる 2 つの金属部材を重ね合わせた状態で摩擦攪拌接合する接合方法およびこれに用いる接合ツールに関する。尚、本明細書において、アルミニウムにはアルミニウム合金も含まれている。

【0002】

【従来の技術】融点が異なる 2 つの金属部材、例えばアルミニウム部材と銅部材との接合において、TIG や MIG 溶接などによる直接溶融法を用いると、接合部に金属間化合物を生成し易い。これを避けるため、上記接合には、摩擦圧接、爆発圧接、あるいはろう付けなどの方法が用いられている。しかし、アルミニウム部材と銅部材との接合に摩擦圧接を用いた場合、被接合部材の断面形状が、棒材や管材などに限定されてしまう。また、爆発圧接を用いた場合にも、被接合部材の断面形状が制限されると共に、コスト高になる。更に、ろう付けを用いた場合、接合部における品質の安定性を欠くと共に、高温に加熱された場合に得られた接合製品が変形し易くなる、という問題があった。

50 【0003】以上の問題を解決して、互いに融点が異なる

るアルミニウム部材とその他の金属部材とを接合するため、摩擦攪拌接合を用いることが提案されている。例えば、アルミニウム部材と異種金属部材とを重ね合わせた接合部に、高速回転するプローブを接触させその摩擦熱により軟化させて摩擦攪拌接合する際、上記両部材のうち強度の高い部材側からプローブを接触させる接合方法が提案されている(特開平10-137952号公報参照)。しかし、この接合方法では、プローブの重合部付近への挿入が困難であると共に、係るプローブを含む接合ツールの寿命も短くなるため、工程管理が煩雑で且つコスト高になるという問題があった。

【0004】また、図6(A)に示すように、アルミニウム部材31と銅部材32とを重ね合わせた重合部33付近に、接合ツール34の回転する円柱形の回転子36における底面37の中心から垂下するプローブ38を挿入し、両部材31、32を摩擦熱により軟化して攪拌することにより接合するに際し、上記プローブ38を軟質のアルミニウム部材31側から挿入する、という接合方法も提案されている(特開平10-328855号公報参照)。この接合方法によれば、軟質のアルミニウム部材31の可塑性が容易なため、プローブ38の挿入も容易となり、両部材31、32の金属同士の攪拌もスムーズに行えるため、重合部33付近に欠陥が発生せず接合強度が向上する、という利点を有する。

【0005】しかしながら、プローブ38を含む接合ツール34や接合条件の選定如何によっては、接合部に欠陥を生じることがある。即ち、図6(A)に示すように、上記部材31、32への入熱は、これらとプローブ38および底面(シールド)37との摩擦に起因するが、その多くは上記底面37との摩擦による。このため、重合部33付近における入熱量は、底面37寄りで多くなり、プローブ38の先端側で少なくなる。このため、軟質のアルミニウム部材31側からプローブ38を挿入した場合、プローブ38の先端付近に位置する硬質の銅部材32への入熱量が少なくなる。この結果、図6(B)に示すように、銅部材32中において銅材料の流動不足が生じるため、接合部Wにおけるプローブ38の先端付近の位置に内部欠陥(空洞)K1を生じる、という問題がある。一方、プローブ38および回転子36の回転数を上げて、プローブ38の先端寄りの位置における入熱量を増やそうとすると、アルミニウム部材31側への入熱量が一層増加し且つアルミニウム部材31の流動抵抗が著しく低下する。この結果、図6(C)に示すように、前記底面37の付近からアルミニウム部材31の一部が外部に漏れ出すことにより表面欠陥K2を生じる、という問題がある。

【0006】

【発明が解決すべき課題】本発明は、以上に説明した従来の技術における問題点を解決し、融点が互いに異なる金属部材同士を摩擦攪拌接合するに際し、内部や表面付

近に欠陥のない健全な接合部を確実に得られる接合方法およびこれに用いる接合ツールを提供する、ことを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するため、接合ツールにおけるプローブ先端寄り付近における温度低下を防いだり、プローブ先端寄りの付近における入熱量を増やすこと等に着想して成されたものである。即ち、本発明の第1の接合方法は、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、上記一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に円柱形の本体とその底面に突設したプローブとを有する接合ツールを配置し、且つ高融点側の金属部材における上記接合ツールと対向する裏面付近に裏当材を配置する工程と、上記接合ツールを回転させつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする。

【0008】これによれば、接合ツールにおける本体よりも細径のプローブ先端付近のみに接触する高融点側の金属部材における摩擦熱が裏面側へ逃げる事態を阻止し、高融点側の金属部材の流動・攪拌部分における温度低下を抑制できる。このため、係る高融点側の金属部材における流動不足が解消される。従って、低・高融点の2つの金属部材における重合部付近において、両部材の金属が互いに塑性流動しつつ攪拌されるため、内部欠陥および表面欠陥のない健全な接合部を形成する摩擦攪拌接合を行うことができる。

【0009】尚、前記摩擦攪拌接合は、固相状態で2つの金属部材を軟化させて接合する方法であり、接合部には金属間化合物を生成せず、且つ接合部の付近に熱的影響部も生じない。そこで、上記のように、2つの金属部材を低融点側および高融点側としたのは、それぞれの融点に応じて軟化点(軟化温度域)も同様な関係になることに着眼したためである。それ故、低融点側と高融点側とは、同じ加熱温度における軟質側と硬質側、低強度側と高強度側、または高硬度側と低硬度側と表現することも可能である。また、上記接合ツールには、上記2つの金属部材よりも更に高融点で且つ硬質の金属または合金から成形されたものが用いられる。更に、上記裏当材には、高融点側の金属部材よりも熱伝導率が低い素材からなり、且つ耐熱性を有するセラミックや金属材が用いられる。

【0010】また、前記裏当材は、高融点側の金属部材よりも低い熱伝導率のものであるか、あるいは加熱手段を有するものである、接合方法も含まれる。これによれば、プローブの先端付近と摩擦して発熱する高融点側の金属部材における摩擦熱が該金属部材の裏面側から放出される事態を防止でき、高融点側の金属部材における温

度低下を抑制する。あるいは、上記放熱を防ぐと共に裏面側から積極的に加熱することで、高融点側の金属部材の重合部付近における温度降下を防止することができる。尚、裏当材には例えばセラミック材のような耐熱性で且つ低熱伝導材が用いられ、加熱手段には例えばヒータ線などが用いられる。

【0011】本発明の第2の接合方法は、円柱形の本体とその底面にプローブとを有し、このプローブの先端部に凹凸部を有する接合ツールを用いる接合方法であって、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、この一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、上記接合ツールを回転させつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする。

【0012】これによれば、接合ツールのプローブ先端付近のみに接触する高融点側の金属部材における摩擦熱が、プローブ先端部の上記凹凸部による接触面積の増大に応じて増加する。このため、高融点側の金属部材における流動不足が解消されるので、両金属部材の重合部付近において内部欠陥がなく、且つ低融点側の金属部材の表面にも表面欠陥のない健全な接合部を得ることが可能となる。尚、上記凹凸部は、プローブの先端面に多数の突起を格子状に突設した形態、先端面に単数または複数の凸条を突設した形態、あるいは先端面に同心円状に複数のリング凸条を設けた形態が含まれる。また、プローブの先端面寄りの周面に対し、その軸方向に沿った多数の凹溝または凹みを突設した形態も含まれる。更に、以上の凹凸部を有するプローブを含む接合ツールと共に、前記裏当材(加熱手段を含む)を併用しつつ摩擦攪拌接合すると一層効果的な接合が可能となる。

【0013】本発明の第3の接合方法は、少なくとも円柱形の本体における外周部を含む第1部分と、少なくともプローブ先端部を含む第2部分とからなり、第1部分と第2部分とが同軸心で且つ個別に回転する接合ツールを用いる接合方法であって、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、この一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、この接合ツールをその第2部分の回転数を第1部分の回転数よりも大きくした回転を伴いつつ上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ、且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする。

【0014】また、より具体的な第3の接合方法は、前記第1部分が円柱形の本体およびその底面に突設したプローブ基端部を含み、且つ前記第2部分がプローブの先端部を含むと共に、互いに同軸心で且つ個別に回転する

第1・第2部分からなる接合ツールを用いる接合方法であって、融点が互いに異なる一対の金属部材を重ね合わせる工程と、この一対の金属部材のうち、低融点側の金属部材の表面付近に上記接合ツールを配置する工程と、上記接合ツールをその本体側の第1部分の回転数よりもプローブ先端部側の第2部分の回転数を大きくした回転を伴って上記一対の金属部材の重合部付近に進入させ且つ係る重合部の長手方向に沿って移動させることにより、上記一対の金属部材をその重合部に沿って摩擦攪拌接合する工程と、を含む、ことを特徴とする。

【0015】これらによれば、接合ツールにおける第2部分の回転数が大きいので、当該部分のプローブまたはその先端付近と接触する高融点側の金属部材における流動不足が解消される。このため、第1部分が接触する低温側の金属部材における発熱量に近付けるか同様にすることができる。従って、2つの金属部材の重合部に跨って内部欠陥や表面欠陥のない健全な接合部を確実に形成することができる。

【0016】更に、第3の接合方法に用いる1つの接合ツールは、円柱形の本体またはこの本体の外周部を含む第1部分と、係る本体の中心部を同軸心で貫通する回転軸とこの回転軸の先端に位置し且つ上記本体の底面から突出するプローブとを含む第2部分と、上記第1部分と第2部分との間に配置した軸受と、を含む、ことを特徴とする。加えて、第3の接合方法に用いるもう1つの接合ツールは、円柱形の本体とその底面に突設したプローブ基端部とを含む第1部分と、プローブ先端部と上記第1部分の本体およびプローブ基端部の軸心を貫通する回転軸とを含む第2部分と、上記第1部分と第2部分との間に配置した軸受とを含む、ことを特徴とする。これらによれば、接合ツールにおけるプローブまたはプローブ先端部を含む第2部分を、本体側の第1部分または本体およびプローブ基端部からなる第1部分よりも高速回転させることができる。このため、第2部分によって高融点側の金属部材における流動不足が容易に解消される。従って、前述した2つの金属部材の重合部に跨って内部欠陥がなく且つ表面欠陥もない健全な接合部を確実に形成させることが可能となる。

【0017】

【発明の実施の形態および実施例】以下において本発明の実施に好適な形態や実施例を図面などと共に説明する。図1は、本発明の第1の接合方法に関し、図1(A)、(a)に示すように、アルミニウム合金材(低融点側の金属部材)1と無酸素銅(高融点側の金属部材)2とを重ね合わせ且つ拘束して、重合部4を形成する。アルミニウム合金材1の表面付近には、例えば高速度鋼からなる円柱形の本体11とその底面11aの中心部から同軸心で突設されたプローブ12とを含む接合ツール10が配置される。図1(a)に示すように、接合ツール10の本体11とプローブ12の軸心は、アルミニウム合金

材1の表面に対する垂線よりも約5°傾けた姿勢で配置される。係る接合ツール10は、500～15000rpmの回転数で回転され、且つその軸心に沿って1～30kNの押し込み力を加えられつつ上記重合部4に向けて挿入されると共に、図1(a)で右側に50mm～2メートル/分の移動速度で送られる。

【0018】図1(A), (a)に示すように、無酸素銅2における接合ツール10と対向する裏面付近には、断面矩形の裏当材6が重合部4に沿って配置される。この裏当材6は、無酸素銅2よりも熱伝導率が低い鋼材またはセラミックからなる。図1(B), (b)に示すように、回転する接合ツール10をアルミニウム合金材1側から挿入し、そのプローブ12を重合部4を通過させて無酸素銅2中に進入させると共に、図1(b)中の直線の矢印で示すように、重合部4に沿って右方向に移動させる。この間に、アルミニウム合金材1は、接合ツール10における本体11の底面11aとプローブ12の基端部付近とに接触し摩擦発熱して塑性・流動化する。また、無酸素銅2は、接合ツール10のプローブ12の先端部付近と接触して摩擦発熱して塑性・流動化する。

【0019】そして、アルミニウム合金材1と無酸素銅2は、互いに攪拌されると共に、接合ツール10が離れるに従って両金属が混合状態で固化した接合部Wが形成される。この際、裏当材6は、無酸素銅2において発生した熱がその裏面側から放熱される事態を防ぐため、接合ツール10のプローブ12の先端部付近における無酸素銅2の温度降下を抑制する。この結果、重合部4付近におけるアルミニウム合金材1と無酸素銅2との発熱量の差が小さくなり、無酸素銅2の流動不足が解消されるため、内部欠陥(空洞)のない健全な接合部Wを得ることができる。従って、接合ツール10の移動に伴って、重合部4に沿った健全な接合部Wが形成され、アルミニウム合金材1と無酸素銅2とを強固に重ね合わせて接合した各種の接合製品(例えば、トランス端子用の導電性接合体)を得ることができる。

【0020】

【実施例1, 2】ここで第1の接合方法の具体的な実施例を比較例と共に説明する。JIS:A6063からなり長さ200mm×幅100mm×厚さ5mmのアルミニウム合金材1と同じサイズの無酸素銅2とを3組用意した。また、高速度鋼から成形され、直径20mmの本体11と、直径9mmで長さ6mmのプローブ12とを含む接合ツール10を用意した。前記図1(A), (a)に示したように、各組のアルミニウム合金材1と無酸素銅2とを重ね合わせて重合部4を各組別に形成し、各組の無酸素銅2の裏面側に3種類の素材からなり、長さ200mm×幅100mm×厚さ10mmの共通のサイズを有する裏当材6を各組別に配置した。このうち、裏当材6の素材がケイ酸を主成分とするセラミックからなるものを実施例1、普通鋼の鋼材からなるものを実施例2、

無酸素銅からなるものを比較例1とした。

【0021】各例のアルミニウム合金材1の表面側から、前記図1(B), (b)に示したように、移動方向と反対側に5°傾けた接合ツール10を、回転数700rpm、押し込み圧力12.5kN、移動速度200mm/分の同じ条件で挿入し、重合部4に沿って移動させた。各例において、無酸素銅2における接合時の発熱温度を熱電対により測定すると共に、得られた各例の接合部Wを切断し、露出した断面を目視することにより欠陥の有無を調べた。それらの結果を表1に示した。

【0022】

【表1】

	裏当材	銅の温度	欠陥の有無
実施例1	セラミック	450℃	なし
" 2	鋼材	420℃	微細な内部欠陥
比較例1	銅	330℃	粗大な内部欠陥

【0023】表1の結果によれば、無酸素銅2における発熱温度は、実施例1で450℃、実施例2で420℃であったのに対し、比較例1では330℃にすぎず、各例の裏当材6の熱伝導率の高さと反対になった。係る温度に応じて、実施例1の接合部Wには内部欠陥がなく、実施例2でも微細な内部欠陥に留まったのに対し、比較例1では約0.2mmの粗大な内部欠陥が発見された。この結果により、実施例1, 2では、第1の接合方法を用い且つ裏当材6に高融点側の無酸素銅2よりも低い熱伝導率の素材を用いたため、接合ツール10のプローブ12先端付近における温度降下が阻止され、内部欠陥を生じないか、微細なものに留めたことが判明した。以上の実施例1, 2により、第1の接合方法の優位性が理解される。

【0024】図2は、第1の接合方法の応用形態に関し、図2(A), (a)に示すように、アルミニウム合金材(低融点側の金属部材)1と無酸素銅(高融点側の金属部材)2とを重ね合わせ且つ拘束して、重合部4を形成する。アルミニウム合金材1の表面付近には、前記同様の素材からなり且つ前記同様の本体11およびプローブ12を含む接合ツール10が前記同様に傾斜して配置される。図2(A), (a)に示すように、無酸素銅2における接合ツール10と対向する裏面付近には、断面矩形の裏当材8が重合部4に沿って配置される。この裏当材8も、無酸素銅2よりも熱伝導率が低い鋼材またはセラミックからなり、その内部には複数のヒータ線(加熱手段)9が内蔵されている。図2(B), (b)に示すように、予めヒータ線9に通電して裏当材8を加熱した状態で、回転する接合ツール10をアルミニウム合金材1側から挿入し、そのプローブ12の先端部を重合部4を通過させて無酸素銅2に進入させると共に、図2(b)中の直線の矢印で示すように、重合部4に沿って右側に移動させ

る。

【0025】以上の間に、アルミニウム合金材1は、接合ツール10における本体11の底面11aとプローブ12の基端部とに接触して摩擦発熱して塑性・流動化すると共に、無酸素銅2も、接合ツール10のプローブ12の先端付近と接触して摩擦発熱して塑性・流動化する。その結果、アルミニウム合金材1と無酸素銅2は、互いに攪拌され、接合ツール10が離れるに従って両金属材料が混合状態で固化した接合部Wが形成される。この際、裏当材8は、無酸素銅2における摩擦熱が裏面側から放熱される事態を防ぐと共に、内蔵した各ヒータ線9により無酸素銅2を更に加熱する。このため、接合ツール10のプローブ12の先端部付近における無酸素銅2の温度降下を一層確実に抑制する。この結果、無酸素銅2の流動不足が解消されるので、内部欠陥(空洞)のない健全な接合部Wを得ることができる。従って、接合ツール10の移動に伴って重合部4に沿って健全な接合部Wが形成され、アルミニウム合金部材1と無酸素銅2とを強固に重ね合わせて接合した接合製品を得ることができる。

【0026】

【実施例3～6】ここで第1の接合方法の応用形態の具体的な実施例を比較例と共に説明する。

JIS:A6063からなり長さ200mm×幅100mm×厚さ5mmのアルミニウム合金材1と同じサイズの無酸素銅2とを5組用意した。また、高速度鋼から成形され、直径20mmの本体11と、直径9mmで長さ6mmのプローブ12を含む接合ツール10を用意した。図2(A),(a)に示したように、各組のアルミニウム合金材1と無酸素銅2とを重ね合わせて、重合部4を各組別に形成し、各組の無酸素銅2の裏面側に同じ無酸素銅からなり、長さ200mm×幅100mm×厚さ10mmの共通のサイズを有する裏当材8を各組別に配置した。各組の裏当材8には、同じ配線のヒータ線9が内蔵されている。そして、ヒータ線9に通電し、裏当材8の表面温度が100℃、200℃、400℃、500℃に個別に加熱された組をそれぞれ実施例3, 4, 5, 6とし、ヒータ線9に通電しなかった組を比較例2とした。

【0027】各例のアルミニウム合金材1の表面側から、前記図2(B),(b)に示したように、移動方向と反対側に5°傾けた接合ツール10を、回転数700rpm、押し込み圧力12.5kN、移動速度200mm/分の同じ条件で挿入し、重合部4に沿って移動させた。各例において、無酸素銅2における接合時の発熱温度を熱電対により測定すると共に、得られた各例の接合部Wを切断し、露出した断面を目視により観察して欠陥の有無を調べた。それらの結果を表2に示した。

【0028】

【表2】

	裏当材の温度	銅の温度	欠陥の有無
実施例 3	100℃	350℃	微細な内部欠陥
" 4	200℃	420℃	なし
" 5	400℃	470℃	なし
" 6	500℃	520℃	微細な表面欠陥
比較例 2	室温	300℃	粗大な内部欠陥

【0029】表2の結果によれば、実施例3～6では裏当材8の温度にほぼ比例して無酸素銅2の温度も高くなり、且つ無酸素銅2の温度が420℃の実施例4と470℃の実施例5では、接合部Wに内部欠陥を生じていなかった。また、無酸素銅2の温度が350℃とやや低い実施例3は、微細な内部欠陥に留まり、無酸素銅2の温度が520℃とやや高い実施例6では、接合部Wの表面に微細に凹んだ表面欠陥が観察された。これらから、実施例3は加熱不足により、プローブ12先端付近における無酸素銅2の温度低下を十分に防げず流動不足を僅かに生じ、逆に実施例6では過加熱により、内部欠陥は阻止できたが、接合部Wの表面における流動抵抗がやや低下したため、微細な表面欠陥を招いたものと推定される。一方、裏当材8を加熱しなかった比較例2では、約0.2mmの粗大な内部欠陥(空洞)が発見された。即ち、比較例2は、前記比較例1と同様に無酸素銅2中において流動不足が生じたため、粗大な内部欠陥が生じたものと推定される。以上の実施例3～6によっても、第1の接合方法の優位性が理解されよう。

【0030】図3は、第2の接合方法に関し、図3(A),(B)に示すように、この方法に用いる接合ツール10は、高速度鋼からなる円筒形の本体11とその底面11aの中心部から突出するプローブ12を含み、該プローブ12の先端面(先端部)12aに、径方向に沿った一對の十字形を呈する凸条(凹凸部)14を突設している。前記図1(A),(a)のように、アルミニウム合金材(低融点側の金属部材)1と無酸素銅(高融点側の金属部材)2とを重ね合わせて拘束し、重合部4を形成する。また、アルミニウム合金材1の表面付近には、本体11およびプローブ12を含み且つ上記一對の凸条14, 14を有する上記接合ツール10を、前記同様に傾斜して配置する。但し、前記裏当材6は使用しない。次いで、前記図1(B),(b)に示したように、回転する接合ツール10をアルミニウム合金材1側から挿入し、そのプローブ12の先端面12aを重合部4を通過させて無酸素銅2中に進入させると共に、図1(b)中の直線の矢印で示したように、重合部4に沿って右方向に移動させる。

【0031】以上の間に、アルミニウム合金材1は、接合ツール10における本体11の底面11aとプローブ12の基端部付近とに接触して摩擦発熱して塑性・流動化すると共に、無酸素銅2も、接合ツール10のプローブ12の先端部および一對の凸条14, 14に接触して

摩擦発熱することにより、塑性・流動化する。その結果、アルミニウム合金材 1 と無酸素銅 2 は、互いに攪拌され、接合ツール 10 が離れるに従って両金属が混合状態で固化した接合部 W が形成される。この際、無酸素銅 2 は、プローブ 12 の凸条 14 にも摩擦接触し、その接触面積の増加分に応じて発熱量が増加するため、流動不足を解消することができる。この結果、内部欠陥(空洞)のない健全な接合部 W を重合部 4 に沿って形成できる。

【0032】また、図 3(C), (c) に示すように、プローブ 12 の先端面 12a に細かな立方体の突起(凹凸部) 16 を格子状に多数突設した形態や、図 3(D), (d) に示すように、プローブ 12 の先端面 12a にリング凸条(凹凸部) 17, 18, 19 を同心円状に突設した形態によっても、上記十字形で一对の凸条 14 と同様の作用・効果を得ることができる。更に、図 3(E), (e), (F) に示すように、接合ツール 10 のプローブ 12 における先端面 12a 寄りの周面(先端部)にその軸方向に沿った凹溝(凹凸部) 13 を複数形成した形態でも、上記凸条 14 と同様の作用・効果を得ることができる。尚、上記凹溝 13 に替えて多数の凹みを散点状に形成したり、あるいは、プローブ 12 周面の凹溝 13 や凹みと共に、その先端面 12a に凸条 14、突起 16、またはリング凸条 17, 18, 19 などを併設することも可能である。

【0033】

【実施例 7~9】ここで第 2 の接合方法の具体的な実施例を比較例と共に説明する。

JIS : A6063 からなり長さ 200mm×幅 100mm×厚さ 5mm のアルミニウム合金材 1 と同じサイズの無酸素銅 2 とを 4 組用意した。また、高速度鋼から成形され、直径 20mm の本体 11 と、直径 9mm で長さ 6mm のプローブ 12 とを含む接合ツール 10 を 4 組用意した。このうち、プローブ 12 の先端面 12a に、図 3(C), (c) に示した一辺 1mm で高さ 1mm の突起 16 を格子状に多数突設したものを実施例 7 とし、図 3(B) に示した幅 2mm で高さ 1mm の凸条 14 を十字形に突設したツール 10 を実施例 8 とした。更に、図 3(D), (d) に示したように、幅と高さがそれぞれ 1mm で、半径方向(厚み方向)の中央における直径が 2mm、5mm、8mm のリング凸条 17, 18, 19 とを突設したツール 10 を実施例 9 とした。一方、平坦な先端面 12a のみのプローブ 12 を有する接合ツール 10 を比較例 3 とした。

【0034】前記図 1(A), (a) に示したように、4 組のアルミニウム合金材 1 と無酸素銅 2 とを重ね合わせ且つ拘束して、重合部 4 を各組別に形成し、各例の接合ツール 10 を前記同様に個別に配置した。各組のアルミニウム合金材 1 の表面側から、移動方向と反対側に 5° 傾けた各例の接合ツール 10 を、回転数 700rpm、押し込み圧力 12.5kN、および移動速度 200mm/分の同じ条件で挿入し、前記図 1(B), (b) に示したよ

うに、重合部 4 に沿って移動させた。実施例 7~9 または比較例 3 の接合ツール 10 を用いて、得られた実施例 7~9 と比較例 3 の接合部 W をそれぞれ切断し、露出した断面を目視により観察して欠陥の有無を調べた。それらの結果を表 3 に示した。

【0035】

【表 3】

	プローブ 先端面形状	欠陥の有無
実施例 7	突起群(図 3(C))	なし
" 8	凸条(図 3(B))	なし
" 9	リング凸条(図 3(D))	なし
比較例 3	凹凸なし	粗大な内部欠陥

【0036】表 3 の結果によれば、実施例 7~9 では、それぞれの接合部 W に内部欠陥が生じていなかったのに対し、比較例 3 の接合部 W には約 0.2mm の粗大な内部欠陥(空洞)が発見された。即ち、実施例 7~9 では、前記凸条 14 等の凹凸部により無酸素銅 2 が十分に流動化したのに対し、比較例 3 は、前記比較例 1, 2 と同様に、無酸素銅 2 中において流動不足が生じたため、粗大な内部欠陥が生じたものと推定される。以上の実施例 7~9 によれば、第 2 の接合方法の優位性が容易に理解される。

【0037】図 4 は、第 3 の接合方法とこれに用いる接合ツール 20 に関する。前記請求項 7 に相当する接合ツール 20 は、図 4(A), (B) に示すように、例えば高速度鋼からなり、円柱形の本体 21 とその底面 21a の中心部に突設したプローブ基端部 22 とを含む第 1 部分 20a と、この基端部 22 と同軸心のプローブ先端部 24 と上記本体 21 およびプローブ基端部 22 の軸心孔 23 を貫通する回転軸 26 とを含む第 2 部分 20b と、係る第 1 部分 20a と第 2 部分 20b との間に配置した複数の軸受 28 と、を含む。第 1 部分 20a と第 2 部分 20b とは、モータなどの専用の駆動源に対し個別に接続されている。尚、第 1・第 2 部分 20a, 20b 間の外端部寄りには、耐熱性のシール材 29 が配置される。

【0038】図 4(C), (D) に示すように、アルミニウム合金材(低融点側の金属部材) 1 と無酸素銅(高融点側の金属部材) 2 とを重ね合わせて拘束し、重合部 4 を形成する。また、アルミニウム合金材 1 の表面付近には、上記接合ツール 20 を前記同様に傾斜して配置する。この際、第 2 部分 20b を第 1 部分 20a よりも大きな回転数によって回転しつつ、接合ツール 20 に 1~30kN の押し込み力を加え且つ上記重合部 4 付近に向けて挿入すると共に、係る接合ツール 20 を図 4(D) で右方向に 50mm~2メートル/分の移動速度で移動させる。

【0039】以上の間に、アルミニウム合金材 1 は、第 1 部分 20a における本体 21 の底面 21a とプローブ基端部 22 とに接触して摩擦発熱して塑性・流動化すると共に、無酸素銅 2 も、第 2 部分 20b のプローブ先端

部 24 と接触して摩擦発熱して塑性・流動化する。その結果、アルミニウム合金材 1 と無酸素銅 2 とは、互いに攪拌され、接合ツール 20 が離れるに従って両金属が混合状態で固化した接合部 W が形成される。一方、無酸素銅 2 は、第 2 部分 20 b のプローブ先端部 24 に摩擦接触し、その回転数の増加に応じて発熱量が増加するため、流動不足を解消することができる。これにより、内部欠陥(空洞)のない健全な接合部 W を重合部 4 に沿って形成可能となる。

【0040】

【実施例 10～12】ここで第 3 の接合方法の具他の実施例を比較例と共に説明する。

JIS : A6063 からなり長さ 200mm×幅 100mm×厚さ 5mm のアルミニウム合金材 1 と同じサイズの無酸素銅 2 とを 4 組用意した。また、高速度鋼から成形され、直径 20mm の本体 21 および直径 9mm で長さ 3mm のプローブ基端部 22 からなる第 1 部分 20 a と、同じ直径と長さのプローブ先端部 24 および回転軸 26 からなる第 2 部分 20 b とを含む接合ツール 20 を用意した。更に、図 1 に示した前記接合ツール 10 を別途用意した。前記図 4 (C), (D) に示したように、各組のアルミニウム合金材 1 と無酸素銅 2 とを重ね合わせ且つ拘束して、重合部 4 を形成すると共に、アルミニウム合金材 1 の表面付近には、上記接合ツール 20 と接合ツール 10 とを個別に且つ前記同様に傾斜して配置した。

【0041】3 組のアルミニウム合金材 1 の表面側から、移動方向と反対側に 5° 傾けた接合ツール 20 の第 1・2 部分 20 a, 20 b を表 4 の回転数で個別に回転させると共に、押し込み圧力 12.5 kN、および移動速度 200mm/分の同じ条件で挿入し、前記図 4 (C), (D) に示したように、重合部 4 に沿って移動させた。これらにより得られた接合部 W を実施例 10～12 とした。一方、図 1 の前記接合ツール 10 を用い、その回転数を上記第 1 部分 20 a と同じとしたほかは上記同様の条件にして、残った 1 組のアルミニウム合金材 1 の表面側から挿入し、且つ重合部 4 に沿って移動させることにより、得られた接合部 W を比較例 4 とした。実施例 10～12 と比較例 4 の各接合部 W を切断し、露出した断面を目視により観察して欠陥の有無を調べた。それらの結果を表 4 に示した。

【0042】

【表 4】

	プローブの回転数		欠陥の有無
	第 1 部分	第 2 部分	
実施例 10	700 rpm	1000 rpm	なし
" 11	700 rpm	1500 rpm	なし
" 12	700 rpm	2000 rpm	なし
比較例 4	700 rpm		粗大な内部欠陥

【0043】表 4 の結果によれば、実施例 10～12 の接合部 W には、内部欠陥が生じなかったのに対し、比較例 4 の接合部 W には、約 0.2mm の粗大な内部欠陥(空洞)が発見された。即ち、実施例 10～12 では、接合ツール 20 における回転数の大きい第 2 部分 20 b により、無酸素銅 2 中でも塑性流動が十分に行われ、流動不足を生じなかった。これに対し、比較例 4 では単一のプローブ 12 がアルミニウム材 1 中と無酸素銅 2 中において、同じ回転数で回転してこれらを攪拌したため、無酸素銅 2 中で流動不足を生じたものと推定される。以上の実施例 10～12 によって、第 3 の接合方法の優位性が容易に理解されよう。

【0044】図 5 (A), (B) は、異なる形態の接合ツール(前記請求項 6 に相当) 20' を示す。図示のように、接合ツール 20' は、円柱形の本体 21 を含む第 1 部分 20 a と、この本体 21 の軸心孔 23 を貫通する回転軸 26 およびその先端に位置するプローブ 25 とを含む第 2 部分 20 b と、係る第 1 部分 20 a と第 2 部分 20 b との間に配置した複数の軸受 28 と、を含む。第 1・第 2 部分 20 a, 20 b は、モータなどの専用の駆動源に対し個別に接続され、且つ第 1・第 2 部分 20 a, 20 b 間の外端部寄りには、耐熱性のシール材 29 が配置されている。以上のような接合ツール 20' を用いても、プローブ 25 を含む第 2 部分 20 b の回転数を本体 21 の第 1 部分 20 a よりも大きくすることにより、前記図 4 (C), (D) に示したように、摩擦による入熱量が増加して、高融点側の銅部材 2 において塑性・流動化が確実に行われる。一方、第 1 部分 20 a の回転数を小さくするので、その本体 21 の底面 21 a に接触する低融点側のアルミニウム合金材 1 は、過度の摩擦発熱による溶融化を防ぐことができる。従って、接合ツール 20' によっても健全な接合部 W を形成することが可能である。

【0045】また、図 5 (C) は、更に異なる形態の接合ツール(前記請求項 6 に相当) 20'' の断面を示す。接合ツール 20'' は、図 5 (C) に示すように、円柱形の本体 21 の外周部を含む第 1 部分 20 a と、本体 21 の軸心孔 23 を貫通する太径の回転軸 26 およびその底面 27 の中心部から同軸心に突出するプローブ 25 を含む第 2 部分 20 b と、係る第 1 部分 20 a と第 2 部分 20 b との間に配置した複数の軸受 28 と、を含む。これら第 1・第 2 部分 20 a, 20 b も、モータなどの専用の駆動源に対し個別に接続され、且つ第 1・第 2 部分 20 a,

20b間の外端部寄りには、耐熱性のシール材29が配置される。以上のような接合ツール20'を用いても、接合ツール20'と同じく前記接合ツール20における作用・効果を同様に得ることが可能である。

【0046】本発明は、以上において説明した各形態および実施例に限定されない。例えば、本発明における低融点側と高融点側の金属部材は、両者の間における融点または軟化点の差が100℃以上であるか、または、同じ加熱温度における引張強さなどの強度の差が100N以上であるか、あるいは硬度の差が30Hv以上であれば、異種金属やそれらの合金間の組合せは基より、同種金属の合金系同士でも適用可能である。また、低融点側と高融点側の一对の金属部材における重ね合わせ部には、両部材の段部同士の間または雄・雌嵌合部も含まれ、且つ平面視で直線形に限らず、中間で屈曲する重合部やカーブする重合部も含まれる。更に、前記裏当材8に設ける加熱手段は、前記ヒータ線9に限らず、放熱パイプやヒートパイプ、あるいはバーナーを内蔵したラジエントチューブなども適用可能である。また、前記接合ツール10のプロープ12の先端部に設ける凹凸部には、周面に刻設したネジ山や、先端面12aに突設する渦巻き形の凸条も含まれる。

【0047】

【発明の効果】以上にて説明した本発明の第1の接合方法(請求項1)によれば、接合ツールにおけるプロープ先端付近のみに接触する高融点側の金属部材における摩擦熱が裏面側へ逃げる事態を阻止し、高融点側の金属部材の流動・攪拌部における温度低下を抑制できる。このため、高融点側の金属部材における流動不足が解消されるので、低・高融点の2つの金属部材における重合部付近において、両者の金属が互いに塑性・流動しつつ攪拌される。従って、内部欠陥および表面欠陥のない健全な接合部を形成する摩擦攪拌接合を行うことができる。また、第2の接合方法(請求項3)によれば、接合ツールのプロープ先端付近のみに接触する高融点側の金属部材における摩擦熱が、プロープ先端部の凹凸部による接触面積の増大に応じて増加する。このため、高融点側の金属部材における流動不足が解消されるので、両金属部材の重合部付近において内部欠陥がなく、且つ低融点側の金属部材の表面にも表面欠陥のない健全な接合部を得られる。

【0048】更に、第3の接合方法(請求項4、5)によれば、接合ツールにおける第2部分の回転数が大きいいため、当該部分のプロープまたはその先端付近と接触する高融点側の金属部材における流動不足が解消される。このため、2つの金属部材の重合部に跨って内部欠陥がなく且つ表面欠陥もない健全な接合部を確実に形成することができる。加えて、第3の接合方法に用いる接合ツール(請求項6、7)によれば、接合ツールにおけるプロープまたはプロープ先端部の第2部分を、本体やプロープ

基端部の第1部分よりも確実に高速回転させることができるため、前記2つの金属部材の重合部に跨って内部欠陥がなく且つ表面欠陥もない健全な接合部を確実に形成させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)は本発明における第1の接合方法の概略を示す正面図、(a)、(b)はこれらの側面図。

【図2】(A)、(B)は本発明における第1の接合方法の応用形態の概略を示す正面図、(a)、(b)はこれらの側面図。

【図3】(A)、(B)は本発明における第2の接合方法に用いる接合ツールの側面図または斜視図、(C)、(D)は異なる形態の凹凸部を示す底面図、(c)は(C)の形態の側面図、(d)は(D)中のd-d線に沿った視角における断面図、(E)、(F)は更に異なる形態の接合ツールを示す側面図または斜視図、(e)は(E)中のe-e線に沿った視角における断面図。

【図4】(A)、(B)は本発明における第3の接合方法に用いる接合ツールの側面図または断面図、(C)、(D)は第3の接合方法を示す概略図。

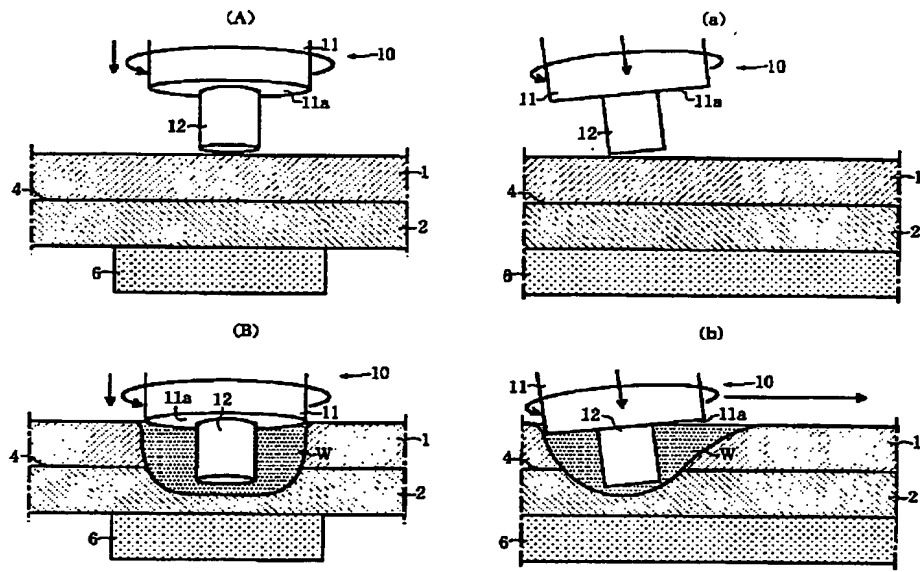
【図5】(A)、(B)は第3の接合方法に用いる異なる形態の接合ツールの側面図または断面図、(C)は更に異なる形態の接合ツールの断面図。

【図6】(A)は従来の摩擦攪拌接合を示す概略図、(B)、(C)はこれにより得られた接合部付近を示す断面図。

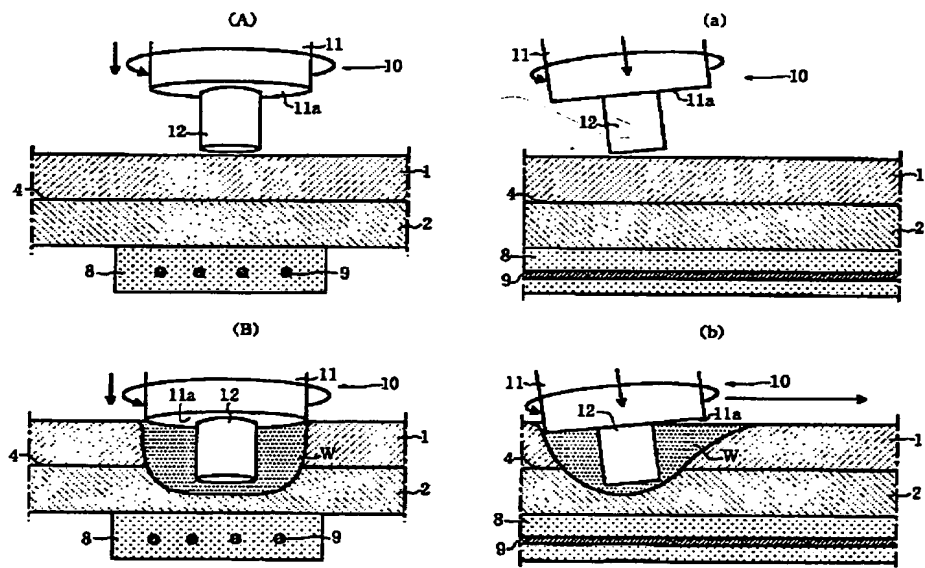
【符号の説明】

- 1アルミニウム合金材(低融点側の金属部材)
- 2無酸素銅(高融点側の金属部材)
- 4重合部
- 6, 8裏当材
- 9ヒータ線(加熱手段)
- 10, 20, 20', 20''接合ツール
- 11, 21本体
- 11a, 21a底面
- 12, 25プロープ
- 12a先端面
- 13凹溝(凹凸部)
- 14凸条(凹凸部)
- 16突起(凹凸部)
- 17, 18, 19リング凸条(凹凸部)
- 20a第1部分
- 20b第2部分
- 22プロープ基端部
- 24プロープ先端部
- 26回転軸
- 28軸受け

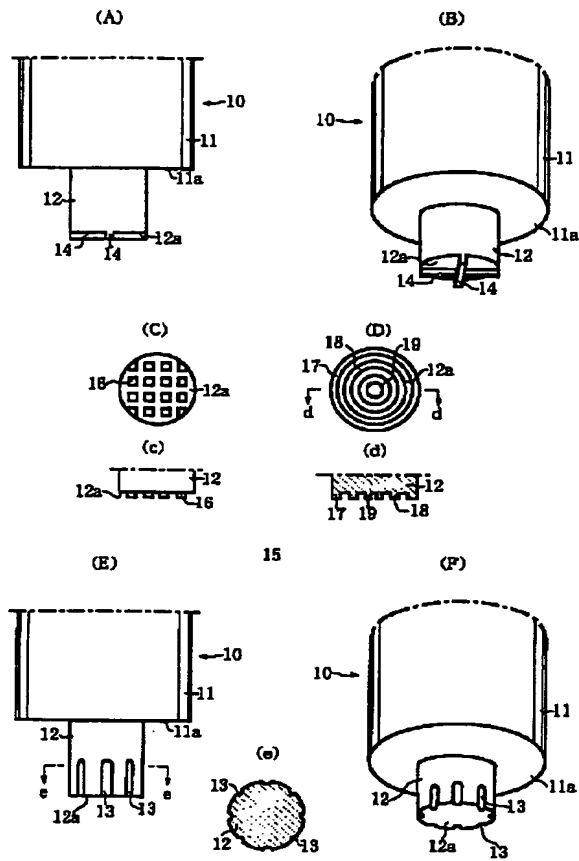
【図1】



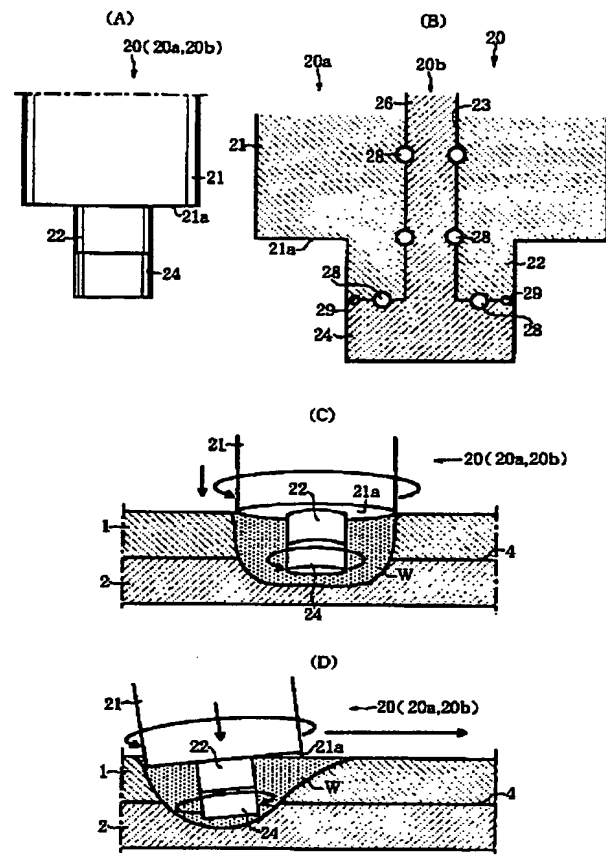
【図2】



【図 3】



【図 4】



【図6】

